



TITLE:

感覚情報を用いた脚ロボットの歩容生成に関する研究(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

安部, 祐一

CITATION:

安部, 祐一. 感覚情報を用いた脚ロボットの歩容生成に関する研究. 京都大学, 2017, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2017-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k20360>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により全文は2022-06-08に公開

京都大学	博士 (工学)	氏名	安部 祐一
論文題目	感覚情報を用いた脚ロボットの歩容生成に関する研究		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>脚をもった生物は歩容を適応的に変化させて様々な環境に対応している．この生物の適応的な歩容は，感覚情報を通した環境との相互作用によって生まれる．これまで，生物を模した脚ロボットが提案され，災害救助や未知環境の探索における応用可能性が示されてきた．しかし，生物の歩容生成メカニズムの解析的な理解はほとんどなされておらず，その応用範囲は明確でない．本論文では，昆虫に観られるセンサフィードバックに着目し，6脚ロボットと多足ロボットの歩容生成におけるセンサフィードバックの影響を，提案するシンプルモデルに基づいて数理的に解析している．さらに，その影響の及ぶパラメータ範囲についても議論している．また，感覚情報を用いた歩容生成の応用例として，4脚ロボットの脆弱な不整地における歩行方法を提案している．</p> <p>本論文の第1章では研究背景として，昆虫などの歩容生成に関する生理学的な知見を説明し，センサフィードバックを用いた昆虫やロボットの歩容生成に関する研究を概観している．</p> <p>第2章では，昆虫を模擬した6脚ロボットの歩容生成に対するセンサフィードバックの影響を，シンプルモデルに基づくシミュレーションと実機実験により考察している．生理学的な知見を参考に，6脚をもつ昆虫型ロボットの各脚は，左右にはπの位相差を持ち，前後には独立した位相振動子で駆動される．振動子には脚が接地した際に位相をリセットするセンサフィードバックが導入されている．平面上を歩かせたところ，環境との相互作用によって各振動子が協調し，遊脚の運動が後ろから前に進む昆虫に対応する歩容（進行波歩容）と遊脚が後ろに進む歩容（後退波歩容）を速度に応じて創発することが動力学シミュレーションと実機を用いた実験により示された．さらに，この歩容を生成する力学系のモデルとして，脚を質量のないバネで近似したシンプルモデルを構築した．物理パラメータのオーダー評価のもとで，摂動論を用いてシンプルモデルの解析解を導出し，その安定性を議論した．得られた解析結果はシミュレーションと実機実験結果との傾向の一致をみた．本解析により，脚の弾性要素に起因する胴体のピッチ方向の回転が歩容生成に重要な影響を及ぼしていることが明らかになり，この現象が起こりうるパラメータの範囲が明確にされた．</p> <p>第3章では，第2章で得た結果をN脚ロボットに対して一般化するため，多脚ロボットの歩容生成に対するセンサフィードバックの影響を解析している．多足生物やロボットを，脚のついた質点が弾性要素を介して鎖状につながったモデルとして近似した．各脚は位相振動子により駆動され，振動子は位相リセットの影響のみを受けているとする．動力学シミュレーションの結果，振動子間には直接の相互作用がないにも関わらず，環境との相互作用の結果として進行波および後退波歩容を創発した．さら</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	安部 祐一
<p>に，進行波と後退波がわきだし部分をもって共存するような歩容（わきだし波歩容）が，多足生物に見られる固有な歩容として創発されることが示された．多足歩行の解析解の導出は，状態量と接地パターンの場合分けが非常に多く容易ではないが，本論文ではモデルに即した物理的な仮定を行うことで，脚数を一般化したうえで解析解とその安定性を導出した．解析の結果，脚の数に依存せずに上述した 3 種類の波が存在することが示された．また，質点間の弾性要素が歩容生成に重要な影響を及ぼしていることが明らかにされ，この現象が起こりうるパラメータ範囲も明確にされた．</p> <p>第 4 章では，感覚情報を用いた適応的な歩容生成のロボットへの応用例として，脆弱な不整地における感覚情報を用いた 4 脚ロボットの歩行方法を提案した．これまで，足場が崩壊する危険のある脆弱な不整地環境における安全な歩行方法はほとんど考察されてこなかった．そこで，本論文では人間が脆弱な環境を歩行する場合を参考に，傾斜面から構成される環境における滑りを考慮した脚探り歩行方法を提案した．ロボットは脚を接地させる際に環境にある一定の力を加えて，足場が崩壊するかしないかを確認し，安定な足場を選択する．また，歩行時には確認した力以上の力を足場に及ぼさないことを保証して歩行する．結果として，ロボットは安定な足場を選択し，足場を崩壊させないように歩くことができる．本歩行においてロボットの脚が滑らないことは，力分散手法を用いて保証される．提案手法の有効性はシミュレーションおよび実機実験によって示された．</p> <p>第 5 章は結論であり，本論文で得られた結果をまとめ，今後の展望について述べている．</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、生物の適応的な歩行における感覚情報の重要性に着目し、脚ロボットの歩容生成に対するセンサフィードバックの影響の解析的理解と、感覚情報を用いた脚ロボットの歩容設計に関する研究の結果についてまとめたものであり、得られた主な結果は次の通りである。

1. 昆虫を模擬した 6 脚ロボットの歩容生成に対するセンサフィードバックの影響が解析された。6 脚ロボットの各脚は振動子により駆動され、前後の振動子はセンサフィードバックの影響のみを受けている。センサフィードバックを通じた環境との相互作用により、昆虫に対応する歩容が速度に応じて生成されることがロボットの動力学シミュレーションおよび実機実験により明らかにされた。さらに、提案するシンプルな力学モデルに基づいて、歩容生成メカニズムが解析的に理解され、その影響の及ぶパラメータ範囲が明確にされた。
2. 6 脚ロボットにおいて得られた結果を N 脚ロボットに対して一般化する目的で、多脚ロボットの歩容生成に対するセンサフィードバックの影響が解析された。多足生物やロボットは、脚のついた質点が弾性要素を介して鎖状につながったモデルとして近似され、各脚は分散したセンサフィードバックの影響のみを受ける振動子で駆動される。環境との相互作用の結果、多足生物に対応する 3 種類の歩容が生成されることが動力学シミュレーションにより確認された。さらに、これらの歩容は物理的な仮定の下で解析的に表現され、脚の数に依存せず一般的な N 脚ロボットに対しても存在することが明らかにされた。また、本現象の原理とその影響の及ぶパラメータ範囲も明確にされた。
3. 感覚情報を用いた歩容の応用例として、4 脚ロボットを対象とし、脆弱な不整地における感覚情報を用いた安全な歩行方法が提案された。ロボットは脚を接地させる際に、ある一定の力を加えて足場が崩壊するかしないかを確認し、安定な足場を選択する。また、歩行時には確かめた力以上は足場に及ぼさないことを保証して歩行する。結果として、ロボットは安定な足場を選択し、足場を崩壊させないように歩くことができる。さらに、本歩行においてロボットの脚が滑らないことは力分散手法を用いて保証される。提案手法の有効性はシミュレーションおよび実機実験によって示された。

以上のように本論文は、感覚情報を用いた脚ロボットの歩容生成に関して論じたものであり、学術上、実用上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 29 年 2 月 21 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。